...e costruisci il tuo **LABORATORIO DIGITALE**

6,90 €

48

DIGITALE DI BASE

HARDWARE

MICROCONTROLLER

DIGITALE AVANZATO

TOTALMENTE PROGRAMMABILE!!!

9 771824 363008 41048

Peruzzo & C.

Direttore responsabile:
ALBERTO PERUZZO
Direttore Grandi Opere:
GIORGIO VERCELLINI
Consulenza tecnica e traduzioni:
CONSULCOMP S.n.c.
Pianificazione tecnica
LEONARDO PITTON

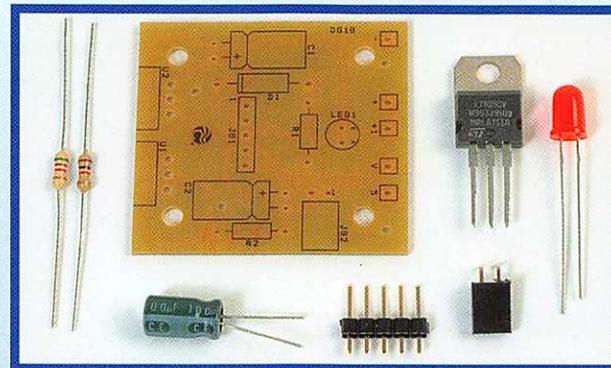
Direzione, Redazione, Amministrazione: viale Ercole Marelli 165, Tel. 02/242021, 20099 Sesto San Giovanni (Mi). Pubblicazione settimanale. Registrazione del Tribunale di Monza n. 1738 del 26/05/2004. Spedizione in abbonamento postale gr. II/70; autorizzazione delle Poste di Milano n. 163464 del 13/2/1963. Stampa: Grafiche Porpora s.r.l., Cernusco S/N (MI). Distribuzione SO.DI.P. S.p.A., Cinisello Balsamo (MI).

"ELETTRONICA DIGITALE"
si compone di
70 fascicoli settimanali
da suddividere
in 2 raccoglitori.

RICHIESTA DI NUMERI ARRETRATI. Per ulteriori informazioni, telefonare dal lunedì al venerdì ore 9.30-12.30 all'ufficio arretrati tel. 02/242021. Se vi mancano dei fascicoli o dei raccoglitori per completare l'opera, e non li trovate presso il vostro edicolante, potrete riceverli a domicilio rivolgendovi direttamente alla casa editrice. Basterà compilare e spedire un bollettino di conto corrente postale a PERUZZO & C. s.r.l., Ufficio Arretrati, viale Marelli 165, 20099 Sesto San Giovanni (MI). Il nostro numero di c/c postale è 42980201. L'importo da versare sarà pari al prezzo dei fascicoli o dei raccoglitori richiesti, più le spese di spedizione € 3,10 per pacco. Qualora il numero dei fascicoli o dei raccoglitori sia tale da superare il prezzo globale di € 25,82 e non superiore a € 51,65, l'invio avverrà per pacco assicurato e le spese di spedizione ammonteranno a € 6,20. La spesa sarà di € 9,81 da € 51,65 a € 103,29; di € 12,39 da € 103,29 a € 154,94; di € 14,98 da € 154,94 a € 206,58; di € 16,53 da € 206,58 in su. Attenzione: ai fascicoli arretrati, trascorse dodici settimane dalla loro distribuzione in edicola, viene applicato un sovrapprezzo di € 0,52, che andrà pertanto aggiunto all'importo da pagare. Non vengono effettuate spedizioni contrassegno. Gli arretrati di fascicoli e raccoglitori saranno disponibili per un anno dal completamento dell'opera. IMPORTANTE: è assolutamente necessario specificare sul bollettino di c/c postale, nello spazio riservato alla causale del versamento, il titolo dell'opera nonché il numero dei fascicoli e dei raccoglitori che volete ricevere.

IN REGALO in questo fascicolo

1 CD-ROM

IN REGALO nel prossimo fascicolo

- 1 Circuito stampato DG18
- 1 Circuito integrato 7805
- 1 Connettore maschio da c.s. a 5 vie diritto
- 1 Connettore femmina da c.s. a 2 vie a 90°
- 1 Condensatore 100 µF elettrolitico
- 1 Resistenza 5K6 5% 1/4 W
- 1 Resistenza 1K 5% 1/4 W
- 1 Diodo LED rosso

COME RACCOGLIERE E SUDDIVIDERE L'OPERA NELLE 4 SEZIONI

L'Opera è composta da 4 sezioni identificabili dalle fasce colorate, come indicato sotto. Le schede di ciascun fascicolo andranno suddivise nelle sezioni indicate e raccolte nell'apposito raccoglitore, che troverai presto in edicola. Per il momento, ti consigliamo di suddividere le sezioni in altrettante cartellette, in attesa di poterle collocare nel raccoglitore. A prima vista, alcuni numeri di pagina ti potranno sembrare ripetuti o sbagliati. Non è così: ciascuno fa parte di sezioni differenti e rispecchia l'ordine secondo cui raccogliere le schede. **Per eventuali domande di tipo tecnico scrivere al seguente indirizzo e-mail:** elettronicadigitale@microrobots.it

Hardware Montaggio e prove del laboratorio

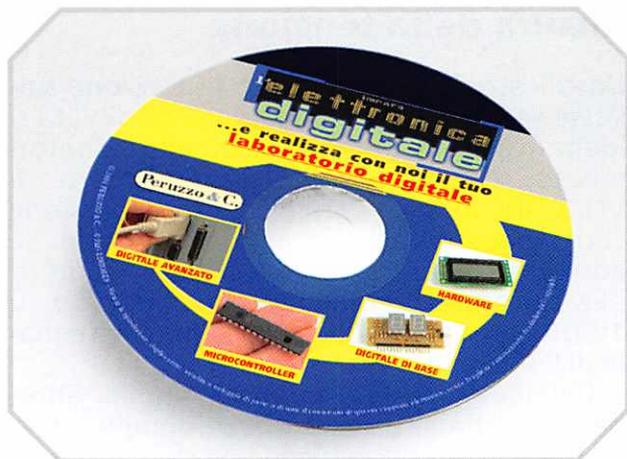
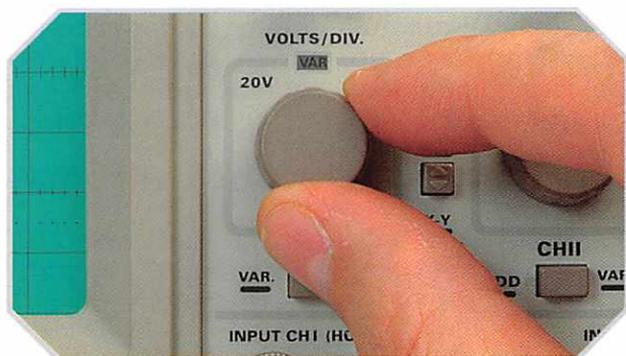
Digitale di base Esercizi con i circuiti digitali

Digitale avanzato Esercizi con i circuiti sequenziali

Microcontroller Esercizi con i microcontroller

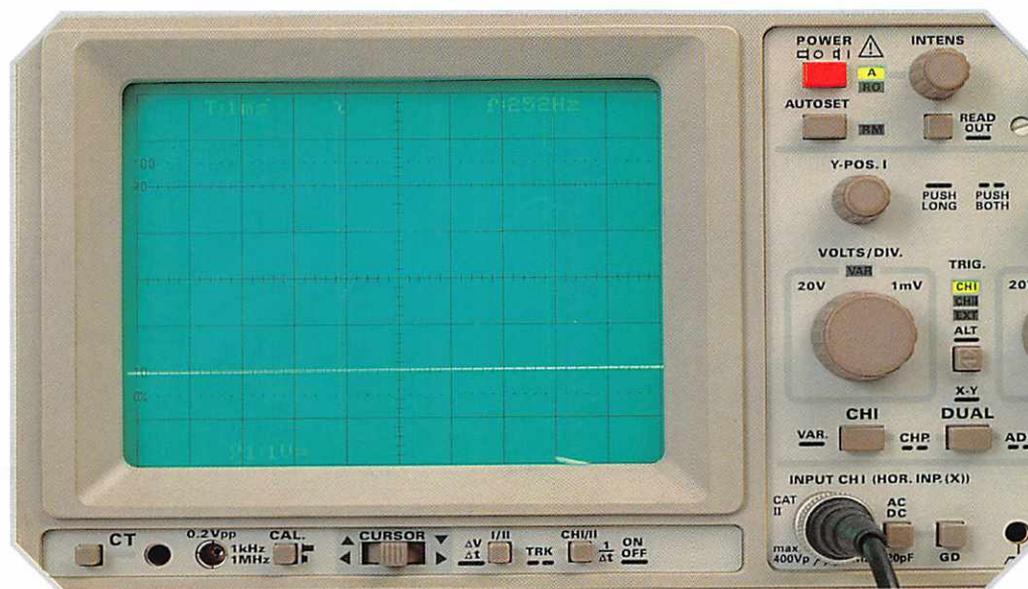
Il secondo CD

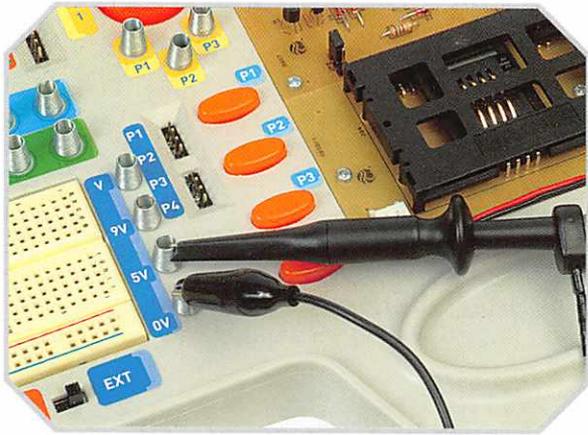
Allegato a questo fascicolo troverete il secondo CD.

Allegato a questo fascicolo troverete il secondo CD, componente hardware che contiene il software. Alcuni esercizi li abbiamo già visti, altri li vedremo prossimamente, nelle sezioni di microcontroller e digitale avanzato verrà spiegato il loro utilizzo in modo dettagliato.

Dettaglio del comando di sensibilità di un oscilloscopio.

Approfittando del fatto che per il momento abbiamo montato tutto il materiale fornito sul laboratorio, mostreremo in modo pratico l'utilizzo dell'oscilloscopio, strumento di uso comune nei laboratori in grado di svolgere diverse applicazioni; le più importanti sono quelle di visualizzare le forme d'onda, eseguire misure di frequenza e tensione.

Descrizione

Benché esistano molti modelli di oscilloscopi, tutti funzionano allo stesso modo, almeno per quanto riguarda le funzioni di base. Nella scheda Digitale di Base 14 avevamo iniziato una breve descrizione dello strumento, in questo caso vediamo come eseguire alcune misure.

Vista del frontale dell'oscilloscopio, è pronto per misurare 5 V.

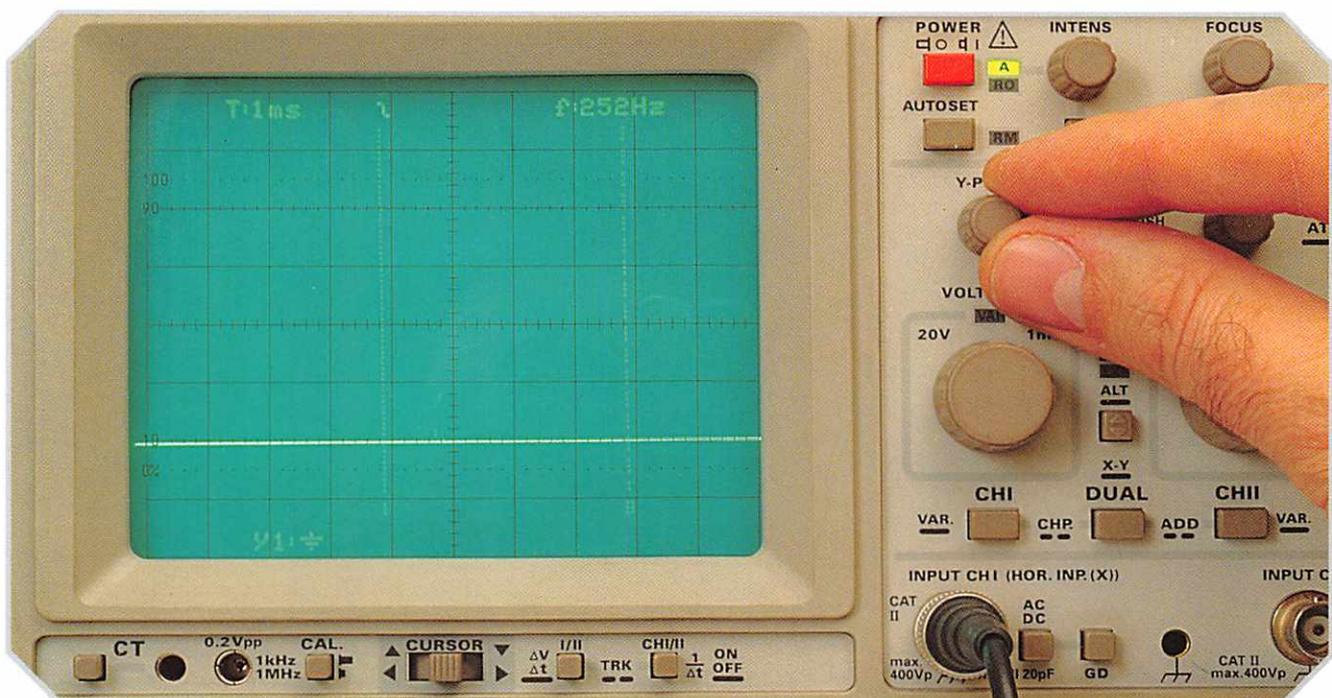
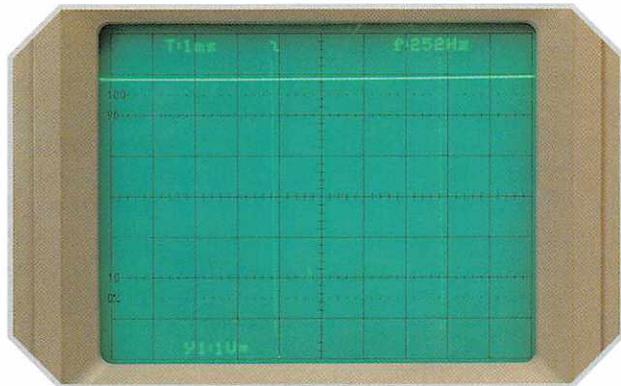
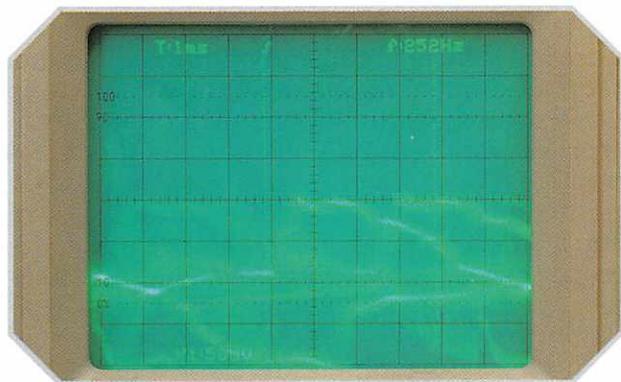
Dettaglio del commutatore AC, DC e del GND.

Misuriamo la tensione di alimentazione.

Misura della tensione

L'oscilloscopio può misurare la tensione sull'asse verticale. Il comando della sensibilità si identifica dal fatto che, sul pannello o direttamente sul video, indica il numero di VOLT/DIV, in altre parole il salto di tensione corrispondente a un quadretto verticale. Se ad esempio l'oscilloscopio ha otto quadretti in verticale e il comando è posizionato su 1V/DIV, potremo vedere al massimo un segnale di 8 V di ampiezza.

L'oscilloscopio può misurare segnali alternati e continui, o entrambi contemporaneamente, ma questo richiede una chiara spiegazione. Vicino ai collegamenti di ingresso troviamo un commutatore indicato come AC e DC, quando è in DC vengono misurate sia la componente continua che quella alternata del segnale, ma quando è posizionato su AC viene interposto un condensatore che lascia passare solamente il segnale alternato. Più avanti vedremo l'utilità di questo comando.

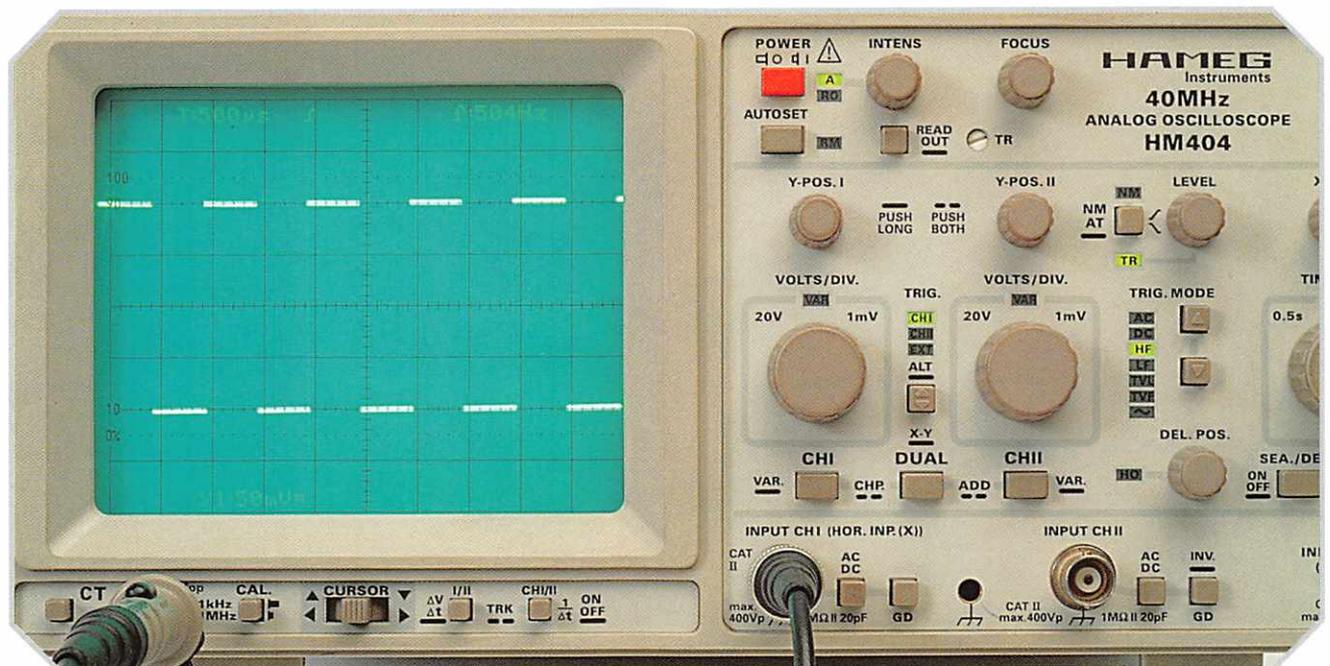
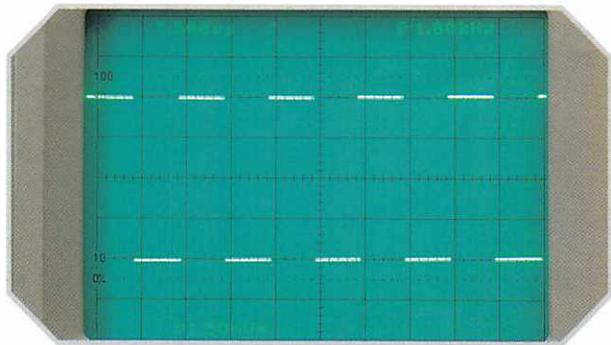
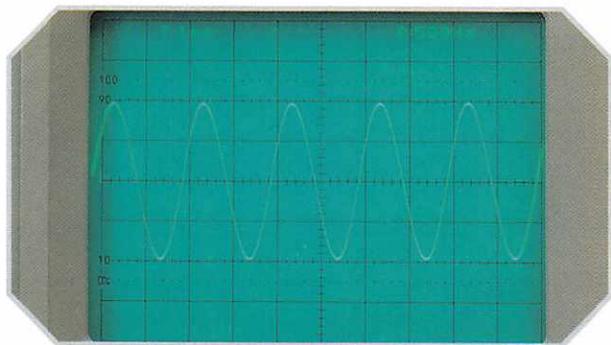
Misura della tensione continua

Per misurare la tensione continua questo comando deve essere in posizione DC, ma prima dobbiamo regolare il riferimento di ten-

Prima di misurare la tensione continua è necessario fare attenzione al riferimento di tensione.

Quando si collegano i 5 Volt la linea orizzontale sale.

Rumore captato toccando la punta con la mano.

sione, ovvero lo 0 V sul monitor. A questo scopo attiveremo il commutatore GND (in molti strumenti i commutatori GND, AC, DC sono raggruppati sullo stesso dispositivo) collegando così l'ingresso dell'oscilloscopio direttamente a 0 V, a questo punto con il comando del posizionamento verticale sposteremo verso il basso e verso l'alto la linea orizzontale che appare sul monitor, questo comando di solito si identifica come Y-POS, o POSITION, e con una freccia verticale a due punte.

Questa linea si posiziona su una delle linee del reticolo e sarà il riferimento di tensione; è necessario ricordare dov'era, dato che scollegando il comando GND si applica all'ingresso la tensione da misurare e se quest'ultima è positiva la linea salirà, se ad esempio è 5 V e il comando di sensibilità è su 1 V/DIV, salirà di cinque quadretti; è necessario verificare sempre il comando della sensibilità.

Misura della tensione alternata

Per misurare la tensione alternata si procede esattamente nello stesso modo, però bisogna tenere presente la componente continua. Facciamo un esempio; supponiamo un alimentatore che fornisca 12 V di continua all'uscita, e che abbia un piccolo ripple di alternata di circa 10 mV, l'alimentatore funziona pe-

Onda quadra.

Dettaglio della videata di misura di un'onda quadra.

Onda sinusoidale.

rò noi vogliamo verificare questo ripple. In realtà 10 mV è la centesima parte di un Volt e se impostiamo il comando di sensibilità su 2 V division (se è presente sull'oscilloscopio), questo ripple non sarebbe visibile, ma se impostiamo il comando su AC elimineremo la continua, aumenteremo quindi la sensibilità e i 10 mV si potranno vedere comodamente sul monitor dell'oscilloscopio. È sufficiente toccare con il dito il terminale di ingresso dell'oscilloscopio e osservare il rumore che capta.

Misura del periodo

Quando il segnale è periodico è possibile misurare il periodo, in questo caso si misura la distanza in orizzontale tra due punti scelti nel seguente modo. Si sceglie un punto qualsiasi del segnale, normalmente si centra il segnale in verticale, si sceglie un punto del segnale che incroci l'asse orizzontale del monitor, si segue il segnale fino a quando si ripete e si arriva a un punto uguale. Fate attenzione con le sinusoidi che incrociano l'asse quando ancora non è stato percorso il segnale completo. Questa distanza è proporzionale al periodo: si contano le divisioni che dividono i due punti e le frazioni delle stesse e si moltiplicano per il dato del comando della base tempi TIME/DIV; se si vuole calcolare la frequenza è sufficiente ricordare che è l'inverso del periodo.

Presentazione dei dati

Gli oscilloscopi moderni generalmente visualizzano i risultati delle misure direttamente sul monitor.

Ora disponiamo dei 2 CD per poter eseguire gli esercizi.

Generatore di tensione negativa

In alcuni casi è necessario avere a disposizione una tensione negativa per determinati punti nel circuito, e quando il consumo è molto ridotto è possibile generarla internamente, senza la necessità di utilizzare una nuova alimentazione esterna.

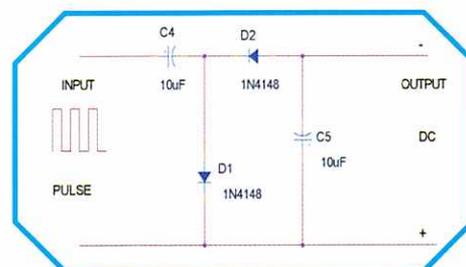
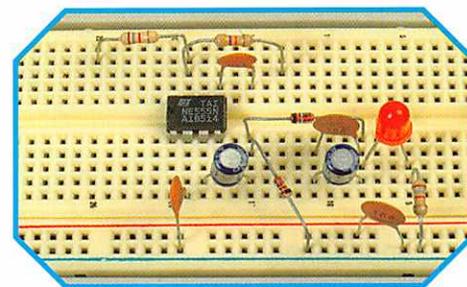
Il circuito

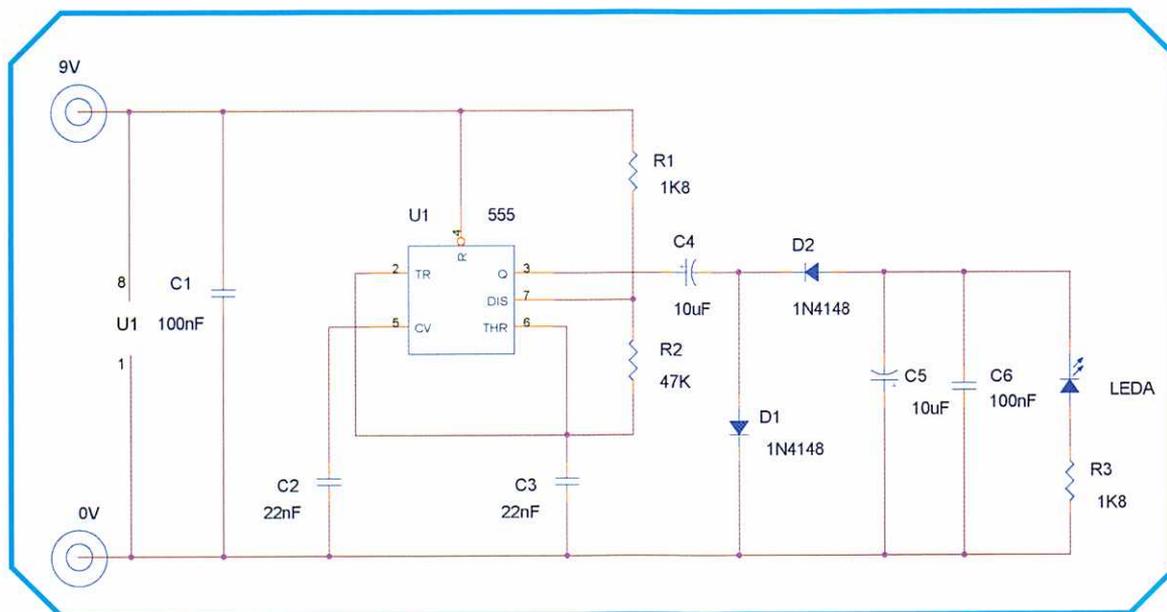
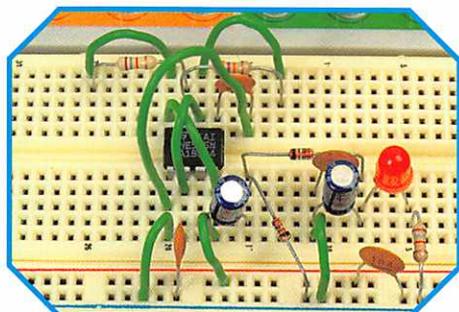
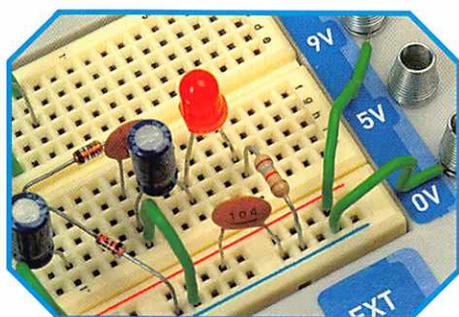
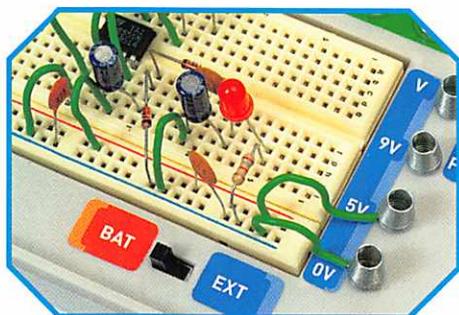
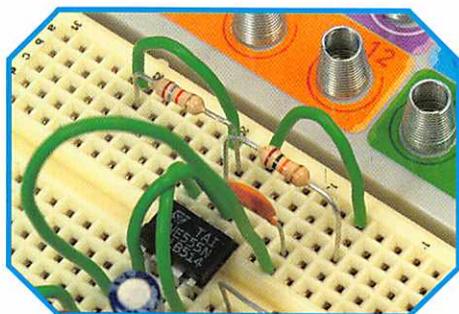
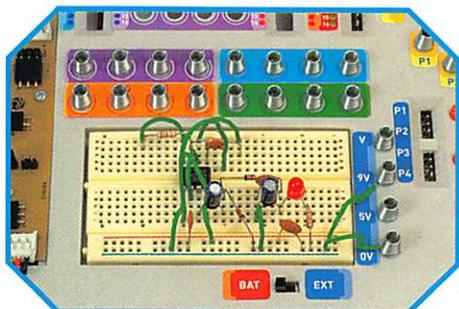
In questo caso dobbiamo osservare attentamente lo schema: al centro dello stesso troviamo un circuito integrato 555 configurato come oscillatore astabile, quindi sulla sua uscita – terminale 3 – avremo un'onda quadra, i cui livelli di tensione variano fra 9 e 0 V, a seconda se l'impulso è a livello alto o basso. La frequenza di oscillazione dipende dai valori delle resistenze R1 e R2 e dal condensatore C3.

Fino a questo punto, il circuito è uguale a quelli già visti in precedenza.

All'uscita del circuito troviamo collegata una rete formata dai diodi D1 e D2, e dai due condensatori C4 e C5, questi componenti formano un duplicatore che in questo caso e in base al suo collegamento è invertente.

Se osserviamo il LED dell'uscita possiamo vedere che è collegato in modo corretto, dato che sul catodo esiste una tensione più negativa rispetto a quella esistente sull'anodo, verificheremo che si accende. Vediamo ora con più attenzione il circuito duplicatore invertente.

Duplicatore invertente.

Componenti sulla scheda Bread Board. Bisogna fare attenzione alle polarità.

Duplicatore invertente

Supponiamo di partire dal circuito in stato di riposo e che arrivi un impulso positivo al conden-

Schema del circuito generatore di tensione negativa.

Cablaggio della scheda Bread Board.

L'anodo del LED è il terminale più lungo.

Se si alimenta a 5 V si ottiene una tensione di uscita minore.

Cambiando il valore di R2, passando a 10 K, varia la frequenza però si mantiene il funzionamento.

Esperimento completato.

satore C4 tramite il terminale 3 dell'integrato: il diodo D1 conduce e il condensatore si carica, per il momento D2 non conduce.

Se a questo punto cessa l'impulso avremo una tensione 0 sul terminale positivo del condensatore, che ricordiamo è stato caricato, di conseguenza sull'altro terminale troviamo una tensione inferiore a 0 , il diodo D2 conduce e la carica di C4, o parte della stessa si, trasferisce al condensatore C5. Quando arriva un altro impulso positivo si carica nuovamente C4 e quando la tensione scende a 0 avviene nuovamente il trasferimento di carica su C5. Facendo una similitudine con l'idraulica, la carica di C4 viene pompata su C5, che immagazzina la carica, ma guardiamo con attenzione come è collegato questo condensatore. Ricordatevi che lo schema è corretto! Questo tipo di circuito è chiamato da alcuni autori "pompa di carica".

Montaggio

Il montaggio si esegue come d'abitudine, facendo particolare attenzione alla polarità dei condensatori elettrolitici e a quella dei diodi compreso il LED. È necessario seguire attentamente lo schema. L'alimentazione non dovrà essere collegata fino a quando non avremo verificato che tutti i componenti siano stati collegati correttamente.

L'esperimento

Questo circuito oltre a essere di grande utilità per generare tensioni negative, può essere utilizzato per realizzare alcuni schemi: è sufficiente collegare il negativo del multimetro allo 0 dell'alimentazione e il positivo all'uscita del circuito, che coincide con il catodo di D2, la sorpresa consiste nel vedere come sale la tensione con segno negativo, si arriva facilmente a –5 V alimentando a 9 V. È possibile alimentare anche a 5 V, ma in questo caso il LED si illuminerà con una certa difficoltà.

LISTA DEI COMPONENTI

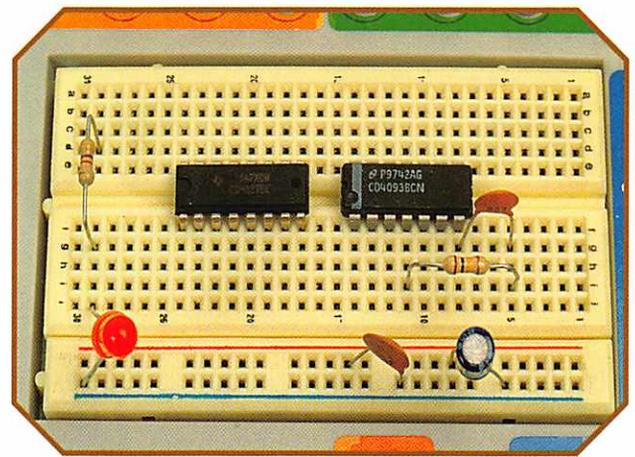
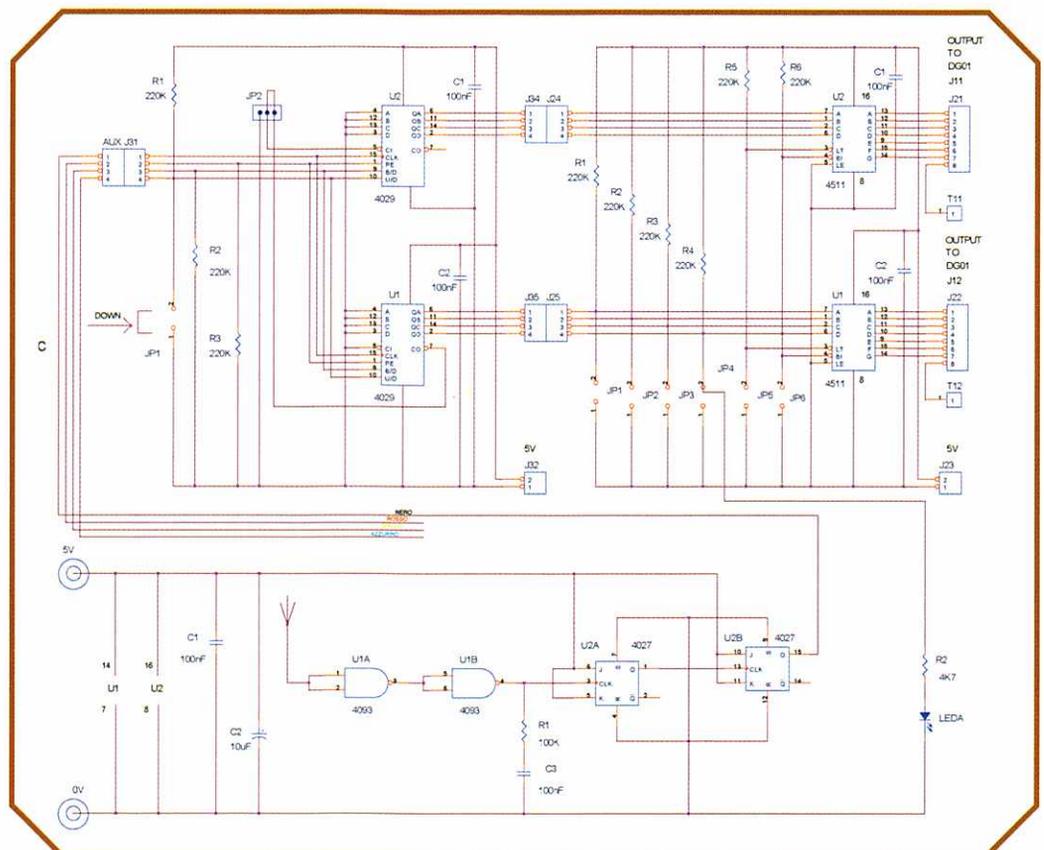
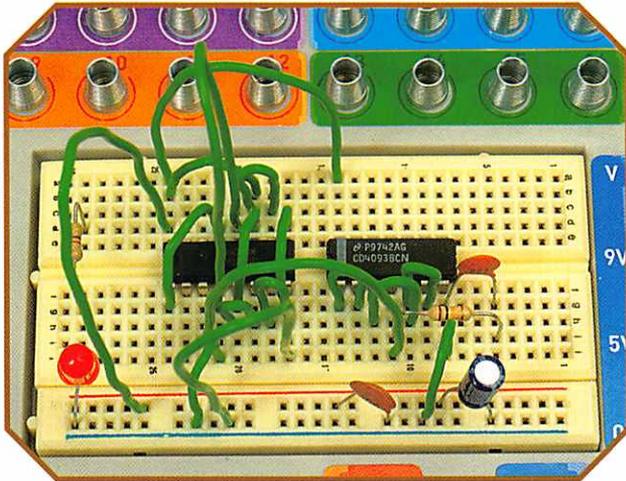
U1	Circuito integrato 555
R1	Resistenza 1K8 (marrone, grigio, rosso)
R2	Resistenza 47 K (giallo, viola, arancio))
R2	Resistenza 10 K (marrone, nero, arancio)
C1,C6	Condensatore 100 nF
C2,C3	Condensatore 22 nF
C4,C5	Condensatore 10 µF elettrolitico
D1,D2	Diodo 1N4148

Contatore di rumore

Con questo esperimento vogliamo verificare come un circuito possa essere disturbato dal rumore radioelettrico ambientale. Il rumore captato genera impulsi che fanno funzionare il contatore in modo praticamente incontrollato. Il circuito contiene un diodo LED in più, il LEDA, per evidenziare meglio l'effetto.

Il circuito

Nello schema possiamo vedere il contatore a due digit del laboratorio, fatta eccezione per la parte che corrisponde al display, che non è stata rappresentata per non dover diminuire ulteriormente la dimensione dei simboli utilizzati, facilitando così la lettura e lo studio dello schema.

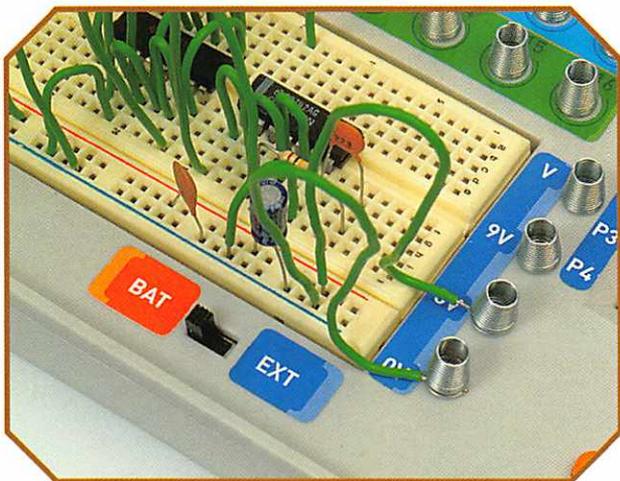
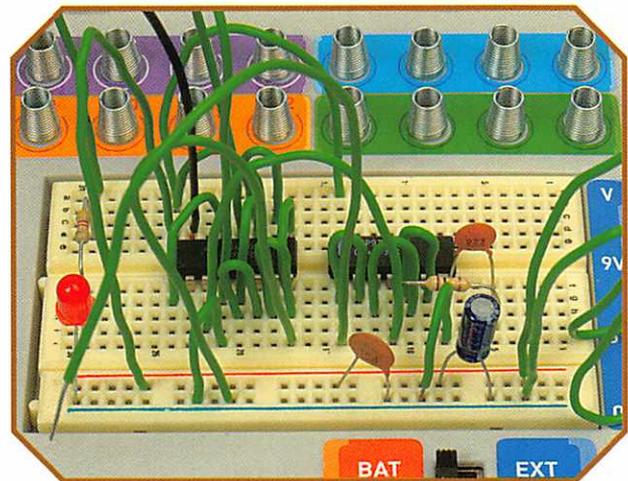
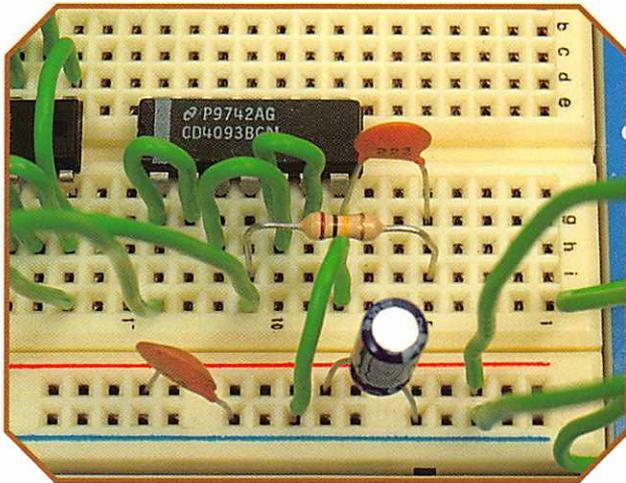
Nella parte inferiore dello schema possiamo vedere il simbolo di un'antenna che si collega alla porta U1A dell'integrato U1. Questa antenna è un pezzo di filo la cui lunghezza non è molto importante per l'esperimento, va comunque sottolineato che lunghezze diverse per l'antenna possono captare disturbi di-

Componenti sulla scheda Bread Board.

Schema elettrico del rilevatore di rumore.

Cablaggio interno della scheda Bread Board.

Collegamenti all'ingresso del clock del contatore.

versi. Uno dei disturbi che si può captare con una certa facilità è quello prodotto dai 50 o 60 Hz della rete di distribuzione dell'energia elettrica, ma bisogna fare attenzione perché devono essere captati tramite l'aria, non bisogna assolutamente realizzare collegamenti alla rete elettrica. La rete formata dalla resistenza R1, collegata in serie al condensatore C3, diminuisce la sensibilità del circuito ed elimina segnali con frequenze elevate che non sono necessari per questo esperimento.

Quando all'ingresso di questo circuito arriva un segnale captato dall'antenna, tale che possa essere interpretato come un impulso, cambia il livello dell'uscita della porta U1A, e quindi cambia anche il livello di uscita della porta successiva, e quando si genera un fronte di salita viene interpretato come un impulso di clock applicato all'ingresso del bistabile T formato con il bistabile JK del 4027.

La frequenza a 50 Hz è sufficientemente elevata perché l'occhio umano non ne percepisca la variazione, e se si utilizza un segnale a questa frequenza per illuminare un LED, la sensazione ottica ottenuta è che sia sempre illuminato.

Facendo attraversare il segnale che abbiamo captato a questi due bistabili, come risultato otteniamo quello di dividere per quattro la frequenza del segnale stesso che, nel caso di 50 Hz, si riduce a 12,5 Hz e questa uscita è applicata all'ingresso del clock del contatore, terminale 1 del connettore J31 della scheda DG03, facendo così contare il contatore. Per visualizzare meglio l'effetto aggiungiamo un LED che si

Collegamenti di alimentazione.

Un pezzo di filo capta il rumore.

Il condensatore C3 e la resistenza R1 diminuiscono la sensibilità del circuito.

Il contatore deve essere alimentato alla stessa tensione degli integrati che si trovano sulla scheda Bread Board.

illumina quando il bit più significativo del primo display è a livello alto. Questo collegamento è disponibile sul terminale JP4, in modo che sia facile vedere il lampeggio del LED.

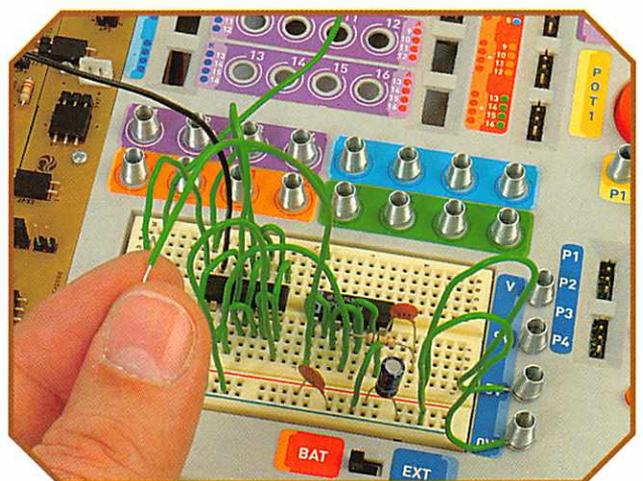
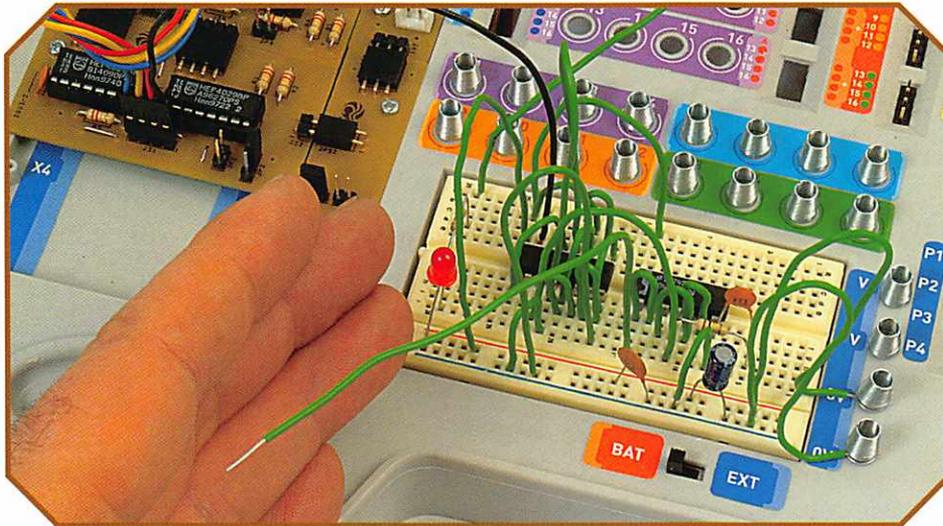
Montaggio

Il montaggio si esegue come d'abitudine e si inizia collocando i componenti sulla scheda Bread Board, tenendo presente l'orientamento dei circuiti integrati, quello del condensatore elettrolitico C3 e del LEDA. Inoltre non ci dobbiamo dimenticare delle alimentazioni dei circuiti integrati riportate nella zona in basso a sinistra dello schema. L'antenna è un filo di una lunghezza qualsiasi il cui effetto potrà essere apprezzato realizzando l'esperimento.

Il ponticello JP2 della scheda DG03 deve essere inserito per fare in modo che il contatore conti le decine. I ponticelli dell'alimentazione delle schede DG04 e DG05 devono essere posizionati per 5 o 9 V. Questo circuito si può alimentare a 5 o 9 V, però le schede del contatore devono essere alimentate anch'esse alla stessa tensione utilizzata per i circuiti integrati montati sulla scheda Bread Board.

Funzionamento e precauzioni

In alcuni casi questo esperimento potrebbe sembrare difficile da mettere in funzione, tuttavia non dobbiamo dimenticare che i circuiti che progettiamo devono sopportare le condizioni ambientali reali e, anche se in questo

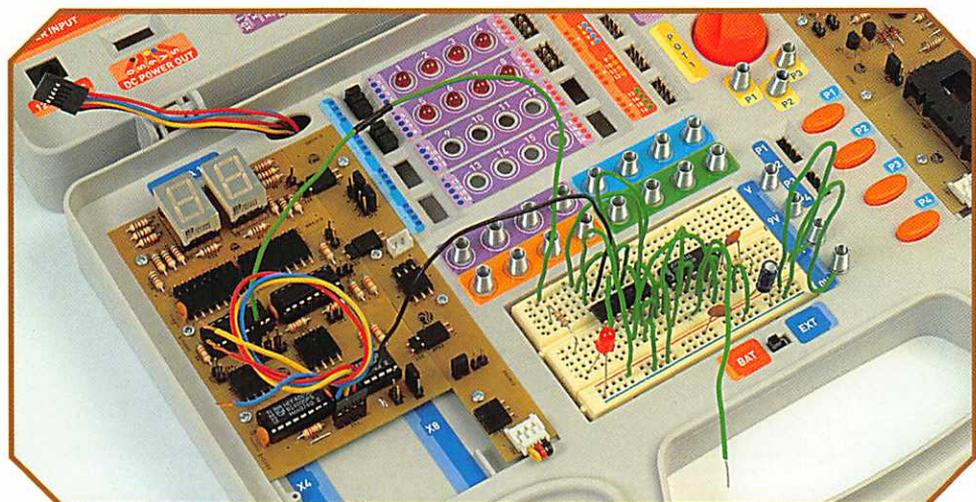
Dobbiamo scaricare l'elettricità statica toccando il terminale a 0 V.

Dopo aver scaricato l'elettricità statica, possiamo toccare la punta dell'antenna con il dito.

Se il disturbo è forte, può essere sufficiente avvicinare la mano.

esperimento sarà necessario collegare un filo di una certa lunghezza: 20 cm, 1 m, 2 m, per enfatizzare il malfunzionamento e la captazione del rumore, in molti circuiti reali è possibile captare il rumore con estrema facilità. In alcuni casi potremo vedere che sarà sufficiente avvicinare la mano al laboratorio per far rilevare il rumore, illuminando il LED e facendo contare il contatore.

Se vogliamo toccare con un dito il filo utilizzato come antenna, è necessario prima toccare con lo stesso dito la molla siglata come 0 V per scaricare l'elettricità statica, dato che se siamo molto caricati potremmo danneggiare il circuito integrato.

Se avviciniamo un filo alla rete di alimentazione di qualche strumento, dovremo fare molta attenzione a non toccarlo e a utilizzare un filo isolato (non bisogna mai collegare direttamente alla rete); potremo vedere che il circuito inizierà a contare e il LED a lampeggiare. Il circuito può anche funzionare quando si tocca con la mano l'involucro esterno del filo utilizzato come antenna e con l'altra il cavo dell'alimentazione, ad esempio di una lampada.

LISTA DEI MATERIALI

U1	Circuito integrato 4093
U2	Circuito integrato 4027
R1	Resistenza 100 K (marrone, nero, giallo)
R2	Resistenza 4K7 (giallo, viola, rosso)
C1,C3	Condensatore 100 nF
C2	Condensatore 10 µF elettrolitico
LEDA	Diodo LED rosso 5 mm

Vista di un particolare del laboratorio con l'esperimento completato.

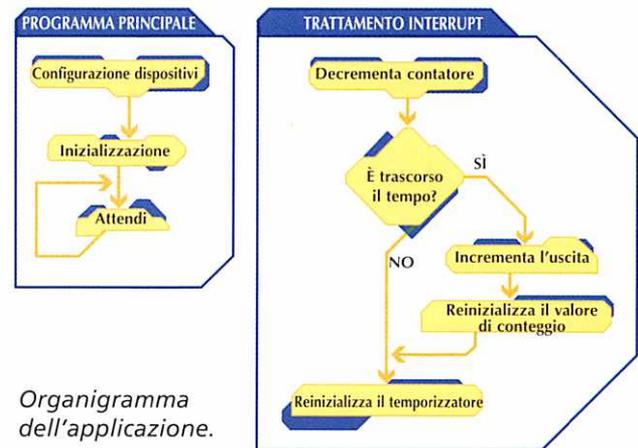
Esercizio 10: il TMR2, il programma

Continuiamo con gli esercizi lavorando, in questo caso, con il terzo temporizzatore, il TMR2. Questo temporizzatore, a differenza del TMR1, è da 8 bit e, come è stato spiegato nella teoria, è molto utilizzato per implementare alcune funzioni speciali che coinvolgono i moduli CCP e la porta seriale sincrona (SSP). L'obiettivo di questo esercizio è che impariate a lavorare con il temporizzatore e che continuiate ad acquisire esperienza nella programmazione.

Enunciato

Si vuole realizzare un programma che ogni 1,3 s provochi l'accensione successiva, come un contatore binario, della barra dei LED mediante l'utilizzo degli interrupt.

Utilizzeremo la porta B per fornire l'uscita ai diodi LED, e per ottenere il tempo specificato dovremo moltiplicare 65 ms (valore ottenuto con il predivisore e con il postdivisore) per 20 (numero di interrupt che si devono generare per fare in modo che si accenda un LED). Per ottenere i 65 ms supponiamo che i valori del predivisore e del postdivisore siano di 1/16 e che la frequenza del PIC sia di 4 MHz.

Nel programma principale dobbiamo configurare i dispositivi che vogliamo utilizzare. Programmeremo la porta B, i registri associati al Timer2 e gli interrupt. Nella routine dedicata agli interrupt svilupperemo il programma. Predisporremo in questa routine ciò che vogliamo far eseguire al programma ogni volta che passa un determinato periodo di tempo. Nell'organigramma si struttura la soluzione all'enunciato.

Organigramma dell'applicazione.

Codice

Il codice deve essere intestato come per gli esercizi precedenti, utilizzando i commenti per scrivere ciò che si vuole risolvere con il pro-

```
;
;                         ESERCIZIO: TMR2
;                       ----------------------

;Programma che ogni 1,3 s genera l'accensione sequenziale, come un contatore binario,
;della barra dei LED, utilizzando gli interrupt del TMR2.
;Il valore 1,3 s deriva dalla moltiplicazione di 65 ms (valore ottenuto con il prescaler e il postscaler)
;per 20 (n° di interrupt che si devono generare per accendere un LED).
;Per ottenere i 65 ms utilizzeremo dei valori di prescaler e di
;postscaler di 1/16 e la frequenza del PIC sarà 4 MHz.

;Calcolo dei tempi:
;       4Tosc=1 µs (Il TMR2 impiega questo tempo ad aggiornarsi)
;       Con i due divisori il range totale è 1/256
;       Quindi il valore da caricare sul PR2 sarà 255 ;(255*256µs=65 ms)


            LIST    P=16F870          ;Definiamo il nostro PIC
            INCLUDE "P16F870.INC"     ;File dei registri interni


            ORG     0
            goto    INIZIO
            ORG     4
            goto    INT
            ORG     5
```

L'nizio del programma è simile in tutte le applicazioni.

```
;Programma principale.

INIZIO          clrf    PORTB
                bsf     STATUS,RP0        ;Passiamo al banco 1
                clrf    TRISB             ;Porta B uscita
                movlw   b'11001111'
                movwf   OPTION_REG        ;WDT
                movlw   .255
                movwf   PR2               ;Carichiamo il PR2 con 255
                bsf     PIE1,TMR2IE       ;Abilitiamo l'interrupt del TMR2
                bcf     STATUS,RP0        ;Ritorniamo al banco 0
                movlw   b'01111111'
                movwf   T2CON             ;Attiviamo il TMR2 e configuriamo il prescaler
                                          ;e il postscaler con 1/16
                clrf    TMR2              ;Resettiamo il TMR2
                movlw   .20
                movwf   Cont1             ;Inizializziamo il contatore (ogni 20 int.)
                movlw   b'11000000'
                movwf   INTCON            ;Abilitiamo gli interrupt

NIENTE          clrwdt
                goto    NIENTE            ;Ciclo che non fa niente
                                          ;sino a quando non si produce
                                          ;l'interrupt
                END
```

Codice del programma principale.

```
                LIST      P=16F870          ;Definiamo il nostro PIC
                INCLUDE   "P16F870.INC"     ;File dei registri interni

;Definizione delle variabili
Cont1           equ       0x20

                ORG       0
                goto      INIZIO
                ORG       4
                goto      INT
                ORG       5
```

Definizione della variabile che utilizzeremo per il contatore.

gramma. È sempre consigliabile fare questo per avere sempre presente ciò che esige l'enunciato. Continuiamo con le direttive di inizio del programma e procediamo allo sviluppo di ciò che sarà il programma principale.

Iniziamo quest'ultimo resettando qualsiasi valore residuo che ci potrebbe essere sulla porta che vogliamo utilizzare come uscita. Configuriamo la porta in modo che tutti i suoi terminali siano uscite digitali impostando il valore 0 al registro TRISB (clrf TRISB). Continueremo caricando il registro delle opzioni allo scopo di programmare il Watchdog (WDT). Caricheremo il PR2 con il periodo desiderato per il TMR2, che nel nostro caso è 255. Dovremo anche abilitare il temporizzatore e configurare i suoi divisori con il range previsto in precedenza. Questo viene fatto programmando il registro T2CON. Dato che il programma dipende dagli interrupt è necessario abilitarli, sia i globali che gli specifici del temporizzatore e, in ultimo, dobbiamo inizializzare il valore del conteggio.

Con questo abbiamo configurato tutti i dispositivi che vogliamo utilizzare ma dobbiamo ancora decidere che cosa far fare al programma quando non ci sono gli interrupt del Timer. Nella nostra applicazione non è specificata nessuna funzione in più di quella di accendere un LED come un contatore ogni determinato periodo di tempo, quindi possiamo lasciare il programma principale in un ciclo di attesa nel quale non esegue nessuna azione.

Fatto questo il programma principale avrà una forma simile a quella della figura della pagina successiva.

Come abbiamo visto, per ottenere il tempo richiesto dobbiamo attendere che si generino 20 interrupt e per poter tenere conto di questo conteggio abbiamo bisogno di una variabile. La variabile si inizializza nel programma principale però è necessario definirla e assegnarle un indirizzo di memoria all'inizio del programma. Inserite la definizione nella posizione indicata, come mostrato in figura.

```
;Routine di trattamento dell'interrupt
INT             decfsz  Cont1,F         ;Verifichiamo se il tempo è passato
                goto    CONTINUA        ;Non ancora
                incf    PORTB,F         ;Incrementa il contatore binario della barra dei LED
                movlw   .20
                movwf   Cont1           ;Reinizializziamo il Cont1

CONTINUA        bcf     PIR1,TMR2IF     ;Resettiamo il flag del TMR2
                clrf    TMR2            ;Resettiamo il TMR2
                retfie
```

Codice della routine di interrupt.

Routine di servizio all'interrupt

In questa routine si deve risolvere l'applicazione. Definiamo che cosa deve succedere ogni volta che il temporizzatore termina il suo compito. Dato che vogliamo intervenire solamente quando si sono generati 20 interrupt, decrementeremo il contatore ogni volta che se ne produce uno e compareremo il suo valore con 0. Se avremo ottenuto i 20 interrupt (variabile = 0), agiremo sull'uscita incrementandola di una unità e reinizializzando il valore del contatore e il temporizzatore.

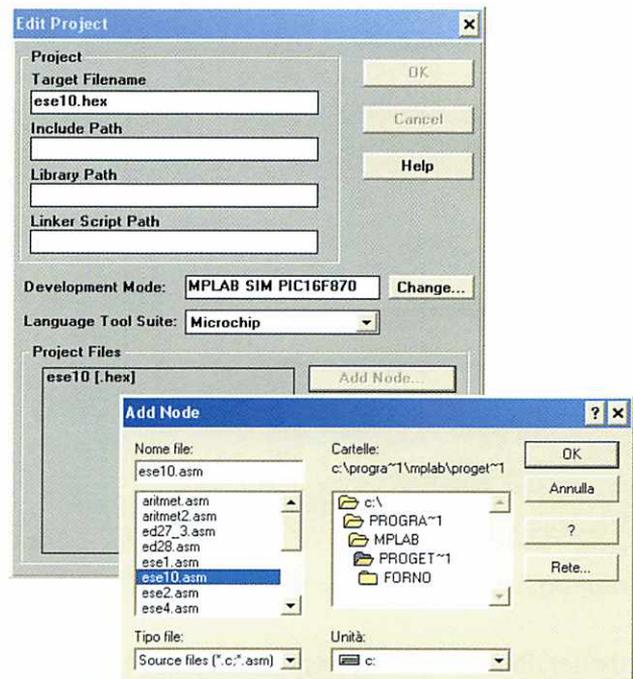
In caso contrario, aggiorneremo solamente il temporizzatore. Nella figura possiamo vedere un codice di esempio che risolve ciò che abbiamo previsto.

Non ci resta che assemblare il codice realizzato e aggiungere i commenti nel caso non l'avessimo ancora fatto. Il programma completo avrà un aspetto simile a quello della figura.

```
ese10 - Blocco note
File  Modifica  Formato  Visualizza  ?

;Programma che ogni 1,3 s genera l'accensione sequenziale, come un contatore binario,
;della barra dei LED, utilizzando gli interrupt del TMR2.
;Il valore 1,3 s deriva dalla moltiplicazione di 65 ms (valore ottenuto con il prescaler e il postscaler)
;per 20 (n° di interrupt che si devono generare per accendere un LED).
;Per ottenere i 65 ms utilizzeremo dei valori di prescaler e di
;postscaler di 1/16 e la frequenza del PIC sarà 4 MHz.

;Calcolo dei tempi:
;       4Tosc=1 µs (Il TMR2 impiega questo tempo ad aggiornarsi)
;       Con i due divisori il range totale è 1/256
;       Quindi il valore da caricare sul PR2 sarà 255 ;(255*256µs=65 ms)

                LIST    P=16F870        ;Definiamo il nostro PIC
                INCLUDE "P16F870.INC"   ;File dei registri interni

;Definizione delle variabili
Cont1           equ     0x20

                ORG     0
                goto    INIZIO
                ORG     4
                goto    INT
                ORG     5

;Routine di trattamento dell'interrupt
INT             decfsz  Cont1,F         ;Verifichiamo se il tempo è passato
                goto    CONTINUA        ;Non ancora
                incf    PORTB,F         ;Incrementa il contatore binario della barra dei LED
                movlw   .20
                movwf   Cont1           ;Reinizializziamo il Cont1

CONTINUA        bcf     PIR1,TMR2IF     ;Resettiamo il flag del TMR2
                clrf    TMR2            ;Resettiamo il TMR2
                retfie

;Programma principale.

INIZIO          clrf    PORTB
                bsf     STATUS,RP0      ;Passiamo al banco 1
                clrf    TRISB           ;Porta B uscita
                movlw   b'11001111'
                movwf   OPTION_REG      ;WDT
                movlw   .255
                movwf   PR2             ;Carichiamo il PR2 con 255
                bsf     PIE1,TMR2IE     ;Abilitiamo l'interrupt del TMR2
                bcf     STATUS,RP0      ;Ritorniamo al banco 0
                movlw   b'01111111'
                movwf   T2CON           ;Attiviamo il TMR2 e configuriamo il prescaler
                                        ;e il postscaler con 1/16
                clrf    TMR2            ;Resettiamo il TMR2
                movlw   .20
                movwf   Cont1           ;Inizializziamo il contatore (ogni 20 int.)
                movlw   b'11000000'
                movwf   INTCON          ;Abilitiamo gli interrupt

NIENTE          clrwdt
                goto    NIENTE          ;Ciclo che non fa niente
                END                     ;sino a quando non si produce l'interrupt
```

Aspetto del programma completo.

Compilazione

Abbiamo progettato un codice che risolve l'esercizio e ora dobbiamo verificare di averlo scritto bene e di aver utilizzato il repertorio delle istruzioni in modo corretto. Facciamo partire MPLAB e creiamo un nuovo progetto. Ricordate che per evitare possibili confusioni è consigliabile dare lo stesso nome sia al progetto che al codice in assembler. Creiamo un oggetto e, editandolo, aggiungiamo a esso il nostro codice. Nel menù **File** selezioniamo l'opzione **Open** per visualizzare così sul monitor il nostro codice. Fatto questo, il passo successivo è quello di compilare il codice per generare il file corrispondente in codice macchina (.hex), sempre che il nostro codice non contenga errori, successivamente scriveremo questo file sul microcon-

Finestra di edizione del progetto nella quale associamo il nostro codice.

```
Build Results
Building ESE10.HEX...

Compiling ESE10.ASM:
Command line: "D:\PROGRA~1\MPLAB\MPASMWIN.EXE /p16F870 /q C:\PROGRA~1\MPLAB\PROGET~1\ESE1
Message[302] C:\PROGRA~1\MPLAB\PROGET~1\ESE10.ASM 48 : Register in operand not in bank 0.
Message[302] C:\PROGRA~1\MPLAB\PROGET~1\ESE10.ASM 50 : Register in operand not in bank 0.
Message[302] C:\PROGRA~1\MPLAB\PROGET~1\ESE10.ASM 52 : Register in operand not in bank 0.
Message[302] C:\PROGRA~1\MPLAB\PROGET~1\ESE10.ASM 53 : Register in operand not in bank 0.

Build completed successfully.
```

Risultato della compilazione.

Processo di compilazione.

Aspetto finale della videata di simulazione.

troller. Per compilare ricordate che potete farlo mediante il menù **Project → Build All**, premendo Control+F10 oppure mediante l'icona corrispondente sulla barra degli strumenti.

Il codice predisposto come esempio, che potrete trovare sul secondo CD fornito, non presenta errori ma solamente i messaggi a cui siamo già abituati inerenti alla posizione dei registri sui banchi di memoria. Nella figura è riportato il risultato ottenuto dalla compilazione eseguita con successo.

Simulazione

Dobbiamo cercare, per quanto possibile, di verificare che il programma risponda a quanto specificato nell'enunciato prima di scriverlo sul PIC. A questo scopo eseguiamo la simulazione passo a passo e osserviamo che ogni linea di codice risponde a ciò che vogliamo che faccia. Mediante il menù **Debug → Run → Step** simuliamo il codice linea a linea, anche se un modo più semplice per realizzare questo tipo di simulazione è quello di premere F7. Apriremo la finestra dei Registri con funzioni speciali e quella dedicata unicamente all'osservazione dei parametri di uscita. Potremo eseguire tutte le linee di codice del programma principale, però arrivati al ciclo di attesa in cui il programma entra senza fare nulla aspettando che si generino gli interrupt, il simulatore si fermerà senza poter entrare nella routine di interrupt. Il registro TMR2 si incrementerà fino al suo valore limite di 255.

Per entrare nella routine di interrupt dobbiamo simulare che quest'ultimo si sia verificato e questo si può fare modificando il valore del registro PIR1. Forzeremo in questo modo l'interrupt (possiamo impostare un valore FF sul registro, unicamente per la simulazione) entreremo nella routine e simuleremo il suo corretto funzionamento. Per modificare il valore del registro faremo uso della finestra **Modify**. Nella figura è riportato l'aspetto che dovrebbe avere la videata di MPLAB durante la simulazione.